

**MARINHA DO BRASIL**  
**CENTRO DE INSTRUÇÃO ALMIRANTE GRAÇA ARANHA**  
**ESCOLA DE FORMAÇÃO DE OFICIAS DA MARINHA MERCANTE**

**BRUNO MAX GOMES FALCÃO**  
**NATAN PEDROSO DE SOUSA**

**PROCEDIMENTOS CONTRA CORROSÃO EM NAVIOS**

**RIO DE JANEIRO**

**2018**

## **IMPLEMENTAÇÃO DE MÉTODOS PARA PROTEÇÃO CORROSIVA EM NAVIOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de formação de oficiais da marinha mercante do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/3 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Orientador: Ramessés César da Silva Ramos

**RIO DE JANEIRO**

**2018**

## **CORROSÃO E MÉTODOS ANTICORROSIVOS EM EMBARCAÇÕES**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de formação de oficiais da marinha mercante do Centro de Instrução Almirante Graça Aranha como parte dos requisitos para obtenção de Certificado de Competência Regra III/3 de acordo com a Convenção STCW 78 Emendada.

Data da Aprovação: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_

Orientador: Ramessés César da Silva Ramos - OSM

---

Assinatura do Orientador

---

Assinatura do Aluno

---

Assinatura do aluno

Dedicamos esse trabalho ao professor, Ramessés César da Silva Ramos pois seu empenho nos ensinou e motivou a escrever sobre o assunto deste trabalho.

A persistência é o menor caminho do êxito.  
(Charles Chaplin)

## **AGRADECIMENTOS**

Agradecemos a Deus por tudo em nossas vidas e aos nossos pais por sempre confiarem na capacidade e investirem nas nossas formações.

## RESUMO

Este trabalho aborda a corrosão em navios e as técnicas anticorrosivas mais utilizadas na indústria naval. No segundo capítulo, é feito um estudo sobre a corrosão em metais. Nele, são listados os principais tipos, controle e prevenção. O capítulo seguinte trata dos processos corrosivos mais específicos da área naval, como a cavitação. O sucessor aborda as principais técnicas anticorrosivas utilizadas nas embarcações, como a proteção catódica e pintura industrial. Nele é encontradas explicações relativas as duas principais formas de proteção catódica: por anodos de sacrifício e por corrente impressa. O quinto capítulo encerra o trabalho com as considerações finais sobre as soluções do problema de corrosão em navios.

Palavras-chave: Corrosão. Pintura industrial. Proteção catódica. Cavitação.

## **ABSTRACT**

This monograph deals with the corrosion on ships and anticorrosion techniques commonly used in the marine industry. In the second chapter is made a study about the corrosion in metals. its main types, control and prevention. The next chapter deals with the specific corrosive processes of the naval area, as cavitation. The successor addresses the main anticorrosive techniques used in vessels, such cathodic protection and industrial painting. There are explanations about two main forms of cathodic protection: by sacrificial anodes and for impressed current. The fifth chapter concludes the work with the final considerations about the solutions of the corrosion problem on ships.

Keywords: Corrosion. Industrial painting. Cathodic protection. Cavitation.



## LISTA DE FIGURAS

<b>Figura 1:</b>	Constituintes da água do mar	12
<b>Figura 2:</b>	Processo de Corrosão	13
<b>Figura 3:</b>	Modelo de reação eletroquímica	14
<b>Figura 4:</b>	Modelo de corrosão galvânica	15
<b>Figura 5:</b>	Corrosão do Anodo de sacrifício	15
<b>Figura 6:</b>	Anodo consumido	15
<b>Figura 7:</b>	Série galvânica de metais em alto mar	16
<b>Figura 8:</b>	Processo de Corrosão por Aeração Diferencial	16
<b>Figura 9:</b>	Processo de Corrosão por linha d` água	17
<b>Figura 10:</b>	Corrosão por pite	18
<b>Figura 11:</b>	Casco de uma embarcação sofrendo corrosão por pite	18
<b>Figura 12:</b>	Superfície Metálica Sofrendo Corrosão Atmosférica	19
<b>Figura 13:</b>	Exemplo de corrosão por cavitação em propulsor	22
<b>Figura 14:</b>	Anodos de sacrifício no casco de uma embarcação	28
<b>Figura 15:</b>	Sistema proteção catódica por ci aplicada a navio	29

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO</b>	10
<b>2</b>	<b>CORROSÃO</b>	11
<b>2.1</b>	<b>Formas de corrosão</b>	11
2.1.1	Principais meios corrosivos e respectivos eletrólitos	12
2.1.2	Corrosão eletroquímica	13
2.1.2.1	Tipos de corrosão eletroquímica	14
2.1.2.1.1	Corrosão Galvânica	14
2.1.2.1.2	Corrosão por aeração diferencial	16
2.1.2.1.3	Corrosão por pite	17
2.1.2.1.3.1	Condições que causam os pites	18
2.1.2.1.4	Corrosão atmosférica	19
2.1.2.1.5	Reoxidação (flash rust)	19
<b>2.2</b>	<b>Corrosão por cavitação</b>	20
2.2.1	Tipos de cavitação	21
2.2.2	Processo de desgaste por cavitação	21
<b>3</b>	<b>MÉTODOS ANTICORROSIVOS</b>	23
<b>3.1</b>	<b>Revestimentos anticorrosivos e anti-incrustantes</b>	23
3.1.2	Mecanismos de formação da película	25
3.1.3	Pigmentos e aditivos	25
3.1.3.1	Pigmentos anticorrosivos	26
3.1.3.2	Aditivos	26
3.1.4	Solventes e dispersantes	26
3.1.5	Resinas e Extensores	27
<b>3.2</b>	<b>Proteção catódica por anodo de sacrifício</b>	27
<b>3.3</b>	<b>Proteção catódica por corrente impressa</b>	28
<b>4</b>	<b>CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	30
	<b>REFERÊNCIAS</b>	31

## 1 INTRODUÇÃO

Este trabalho tem como objetivo, avaliar o quão prejudicial o processo corrosivo pode ser para uma embarcação, e expor as diferentes técnicas afim de eliminar esse problema.

Existem evidências de que o ferro era conhecido antes de 5000 a.c. Os mais antigos objetos feitos de ferro usado pela humanidade são alguns enfeites de siderito, feitos no Egito em aproximadamente 4000 a.c. a descoberta da fundição por volta 3000 a.c. Levou ao início da Era do Ferro por volta de 1200 a.c. e ao uso proeminente de ferro para ferramentas e armas.

Desde então, devido a sua abundância e suas propriedades esse material assumiu um papel vital no modal marítimo. Entretanto devido a sua utilização em meio altamente agressivo a suas ligas metálicas nos leva ao estudo aprofundado afim de mitigar o processo de corrosão com a utilização de técnicas inibidoras.

No segundo capítulo é feita a definição dos tipos de corrosão e são mostradas as principais formas de como ela pode se manifestar em metais.

No capítulo 3, são listados os processos mais eficientes que tem por finalidade inibir e atenuar o processo de oxidação do ferro. São destacados os métodos de corrente impressa, proteção catódica por anodo de sacrifício, além da importância da pintura eletroestática como sistema de proteção.

No capítulo 4, as idéias desenvolvidas ao longo trabalho são sintetizadas e é feita a conclusão de modo a alertar a comunidade marítima a essa questão, que é de suma importância para garantir longa vida útil e excelência operacional das embarcações.

## 2 CORROSÃO

Basicamente podemos definir corrosão como a deterioração de um material, geralmente metálico, por ação química ou eletroquímica do meio ambiente aliada ou não a esforços mecânicos. A deterioração causada pela interação físico-química entre o material e o seu meio operacional representa alterações prejudiciais indesejáveis, sofridas pelo material, tais como desgaste, variações químicas ou modificações estruturais, tornando-o inadequado para o uso. Sendo a corrosão, em geral, um processo espontâneo, está constantemente transformando os materiais metálicos afetando diretamente a sua durabilidade e seu desempenho. A ênfase aqui descrita será sobre corrosão metálica que pode ser classificada em dois grupos de acordo com o tipo de ação do meio corrosivo sobre o material, sendo eles corrosão eletroquímica e corrosão química.

### 2.1 Formas de corrosão

Os Processos de corrosão são considerados reações químicas heterogêneas ou reações eletroquímicas que se passam geralmente na superfície de separação entre o metal e o meio corrosivo. As formas de corrosão podem ser apresentadas considerando-se a aparência ou forma de ataque e as diferentes causas da corrosão e seus mecanismos. Assim, pode-se ter corrosão segundo: (GENTIL, 1983, p.39)

- A morfologia – uniforme, por placas, alveolar, puntiforme ou por pite, Inter granular, intragranular, entre outras;
- As causas ou mecanismos – por aeração diferencial, eletrolítica ou por correntes de fuga, galvânica, associada a solicitações;
- Os fatores mecânicos – sob tensão, sob fadiga, por atrito, associada a erosão;
- O meio corrosivo – atmosférica, pelo solo, sob fadiga, por atrito, associadas à erosão;
- A localização do ataque;
- Meios corrosivos.

Os meios corrosivos em corrosão eletroquímica são responsáveis pelo aparecimento do eletrólito. O eletrólito é uma solução eletricamente condutora constituída geralmente de água contendo sais, ácidos ou bases.

### 2.1.1 Principais meios corrosivos e respectivos eletrólitos

- Atmosfera

O ar contém umidade, sais em suspensão, gases industriais, poeira, etc. O eletrólito constitui-se da água que condensa na superfície metálica, na presença de sais ou gases presentes no ambiente. Outros constituintes como poeira e poluentes diversos podem acelerar o processo corrosivo;

- Solos

Os solos contêm umidade, sais minerais e bactérias. Alguns solos apresentam também, características ácidas ou básicas. O eletrólito constitui-se principalmente da água com sais dissolvidos;

- Águas naturais (rios, lagos e do subsolo)

Estas águas podem conter sais minerais, eventualmente ácidos ou bases, resíduos industriais, bactérias, poluentes diversos e gases dissolvidos. O eletrólito constitui-se principalmente da água com sais dissolvidos. Os outros constituintes podem acelerar o processo corrosivo;

- Água do mar

Estas águas contêm uma quantidade apreciável de sais. Uma análise da água do mar apresenta em média os seguintes constituintes em gramas por litro de água, como pode ser observado na figura 1, abaixo.

**figura 1 – Constituintes da água do mar**

ÍONS PRESENTES NO SAL MARINHO	
Íons	Concentração em g/kg de água do mar*
cloro [ $Cl^-$ ]	19,35
sódio [ $Na^+$ ]	10,76
sulfato [ $SO_4^{2-}$ ]	2,71
magnésio [ $Mg^{2+}$ ]	1,29
cálcio [ $Ca^{2+}$ ]	0,41
potássio [ $K^+$ ]	0,39
bicarbonato [ $HCO_3^-$ ]	0,14

\*A água do mar tem uma concentração média de 3,5% em massa.

Fonte: site Revestimentos Anticorrosivos.

A água do mar em virtude da presença acentuada de sais, é um eletrólito por excelência. Outros constituintes como gases dissolvidos, podem acelerar os processos corrosivos;

- Produtos químicos

Os produtos químicos, desde que em contato com água ou com umidade e formem um eletrólito, podem provocar corrosão eletroquímica.

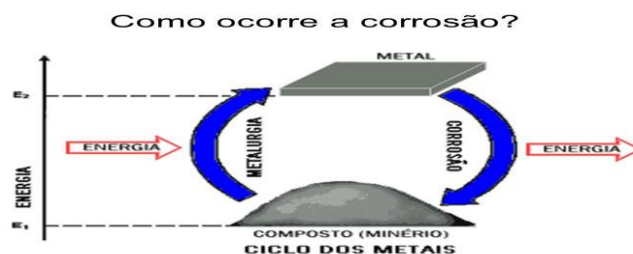
### 2.1.2 Corrosão eletroquímica

Os processos de corrosão eletroquímica são mais frequentes na natureza e se caracterizam basicamente por:

- Necessariamente na presença de eletrólito, geralmente meio aquoso;
- Temperaturas abaixo do ponto de orvalho da água, sendo a grande maioria na temperatura ambiente;
- Formação de uma pilha ou célula de corrosão, com a circulação de elétrons na superfície metálica.

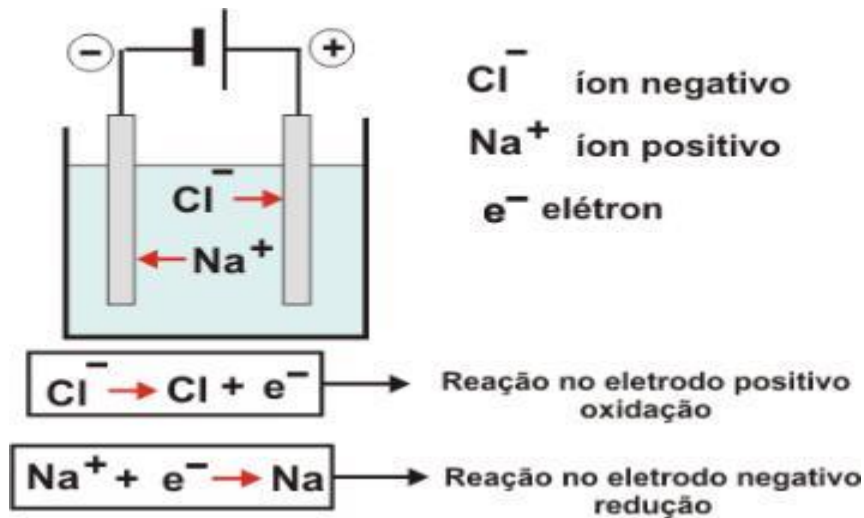
Em face do eletrólito geralmente conter água líquida, a corrosão eletroquímica é também denominada corrosão em meio aquoso. Nos processos de corrosão, os metais reagem com os elementos não metálicos presentes no meio, O<sub>2</sub>, S, H<sub>2</sub>S, CO<sub>2</sub> entre outros, produzindo compostos semelhantes aos encontrados na natureza, dos quais foram extraídos. Conclui-se, portanto, que nestes casos a corrosão corresponde ao inverso dos processos metalúrgicos, conforme ilustrado na figura 1

**Figura 2 – Processo de Corrosão**



**Figura 01- Ciclo dos metais**

Fonte: Site jope.com

**Figura 3** – Modelo de reação eletroquímica

Fonte: site soq.com.br

### 2.1.2.1 Tipos de corrosão eletroquímica

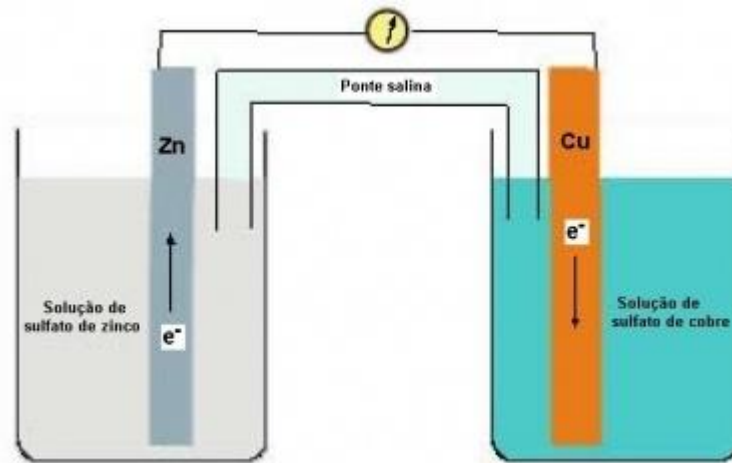
Existem vários tipos de corrosão eletroquímica, no entanto, para este trabalho as formas de corrosão eletroquímicas mais relevantes são:

- Corrosão Galvânica
- Corrosão Aeração Diferencial
- Corrosão por Pite
- Corrosão Atmosférica

#### 2.1.2.1.1 Corrosão Galvânica

Corrosão galvânica ocorre quando dois materiais distintos estão em contato um com o outro e imersos em um eletrólito. Desse modo uma das ligas metálicas ou um dos metais fará o papel de anodo e o outro de catodo. O anodo é aquele material que, devido à perda de elétrons, apresenta perda de massa enquanto o catodo fica preservado. Abaixo, na figura10 é possível observar o modelo de corrosão Galvânica.

**Figura 4** – Modelo de corrosão galvânica



Fonte : sitescientia.com

Nas figuras 4 e 5 abaixo, pode-se observar o anodo de sacrifício após o processo de corrosão galvânica.

**Figura 5**– Corrosão do Anodo de sacrifício



Fonte:alamy.pt

**Figura 6** – Anodo Consumido



Fonte:alamy.pt

O potencial da célula não é apenas função dos materiais dos elétrodos, mas também do eletrólito, por causa da concentração iônica e efeitos de polarização. É desejável obter-se potenciais de células num meio ambiente simples e comum como a água do mar. Esses dados, em forma tabular, são chamados de Série Galvânica e são apresentados no quadro 2.

**Figura 7** - Serie Galvânica de metais em alto mar



ÍONS PRESENTES NO SAL MARINHO	
Íons	Concentração em g/kg de água do mar*
cloro ( $Cl^-$ )	19,35
sódio ( $Na^+$ )	10,76
sulfato ( $SO_4^{2-}$ )	2,71
magnésio ( $Mg^{2+}$ )	1,29
cálcio ( $Ca^{2+}$ )	0,41
potássio ( $K^+$ )	0,39
bicarbonato ( $HCO_3^-$ )	0,14

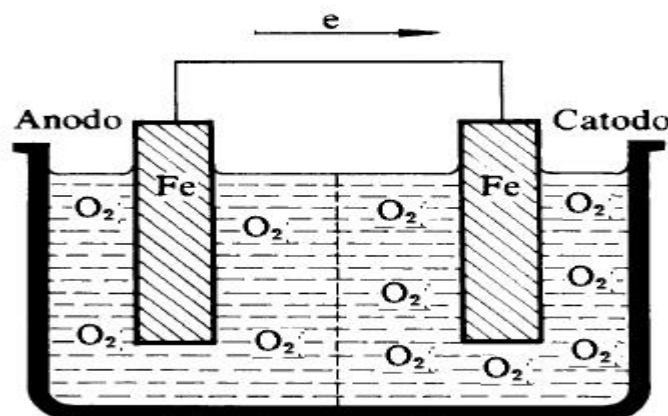
\*A água do mar tem uma concentração média de 3,5% em massa.

Fonte: site lumegal.com.br

#### 2.1.2.1.2 Corrosão por aeração diferencial

De acordo com Gentil (1983, p. 71) “tem-se a aeração diferencial quando um material metálico está imerso em regiões diferentemente aeradas, constituindo tipo frequente de heterogeneidade que conduz à formação de uma pilha de aeração diferencial. Como geralmente o oxigênio é que intervém no processo de aeração, é também chamada de pilha por oxigenação diferencial, sendo o anodo a área menos aerada e o catodo a área mais aerada”, conforme figura 6 abaixo

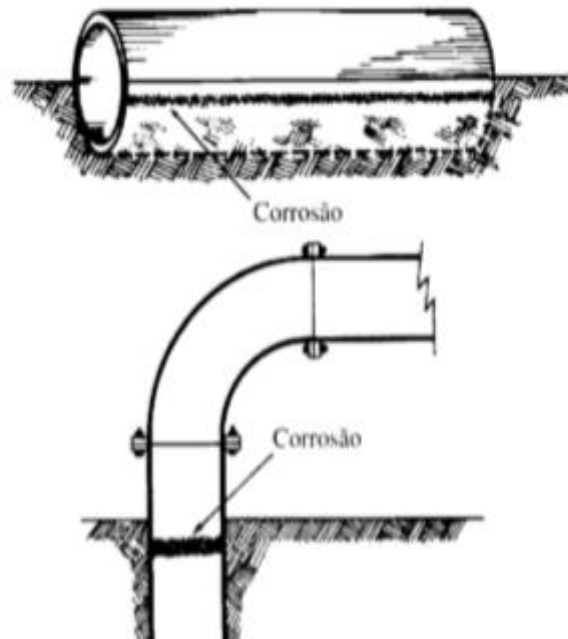
**Figura 8** Processo de Corrosão por Aeração Diferencial



Fonte: site engquimicasantosp.com.br

Outro tipo de corrosão por aeração diferencial é a corrosão por linha d'água conforme figura 7 abaixo

**Figura 9** Processo de Corrosão por linha d` água

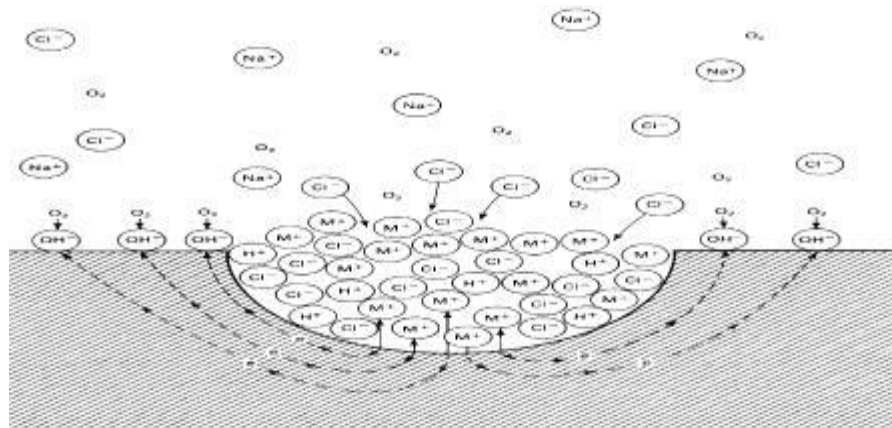


Fonte: site lagocarpa.com.br

#### 2.1.2.1.3 Corrosão por pite

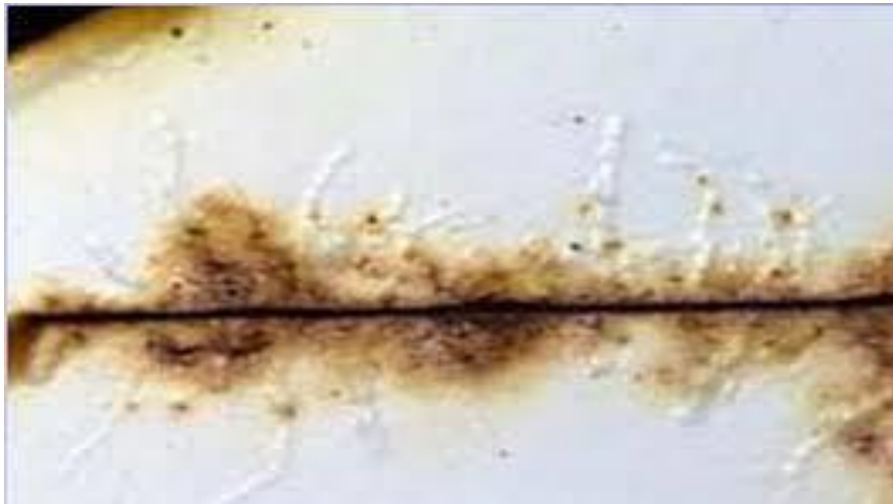
Corrosão por Pite é uma corrosão localizada que leva à criação de pequenos furos no metal que apresentam o fundo em angulosa e profundidade maior do que o diâmetro. A camada passiva superior se torna catódica e a parte do fundo do furo se torna anódica. Podemos observar o modelo da corrosão por Pite na figura 15 e uma amostra de caso prático na figura 8.

**Figura 10** – corrosão por pite



Fonte: site ebah.com.br

**Figura 11** – casco de uma embarcação sofrendo corrosão por pite



Fonte: aeroserviceaerosol.com

#### 2.1.2.1.3.1 Condições que causam os pites

A formação de pites pode ocorrer em sistemas metal/meio aparentemente livres de heterogeneidades, mas que contenham ânions agressivos, como cloreto e íons contendo cloreto, como os hipocloritos (encontrados em alvejantes). Quando aumenta a concentração de cloreto na solução, aumenta significativamente a tendência a pites. Outros íons como os halogênios e brometos podem também causar pites, mas soluções de fluoreto e iodeto apresentam pequena tendência a pites. Os íons metálicos cúprico, férrico e mercúrio em soluções de cloreto são particularmente agressivos. As formações de pites nas regiões de ataque são determinadas pelas

características microscópicas ou submicroscópicas sobre a película passiva que recobre a superfície metálica.

Os fatores que mais influenciam esse tipo de corrosão são: a presença de ânions agressivos, a concentração, o acabamento da superfície e a composição da liga. Em relação à composição química, o molibdênio aumenta a resistência à formação de pite, ao passo que o silício diminui esta resistência.

#### 2.1.2.1.4 Corrosão atmosférica

Processo de corrosão que ocorre em estruturas aéreas. Geralmente o substrato fica exposto ao tempo devido à má aplicação da pintura ou até mesmo por conta de alguma avaria mecânica sofrida pelo material. Uma amostra deste tipo de corrosão segue abaixo na figura 10.

**Figura 12** – Superfície Metálica Sofrendo Corrosão Atmosférica



Fonte: Gerdau

#### 2.1.2.1.5 Reoxidação (flash rust)

Reoxidação ou fluorescência de oxidação é uma leve oxidação do aço, que ocorre no período de secagem após o hidrojateamento. O aço muda rapidamente de aparência. A cor da oxidação pode variar dependendo da idade e da composição do aço do tempo em que o aço permaneceu molhado, antes da secagem. Podemos ainda, classificar o Flash Rust em leve, moderado e intenso, de acordo com a intensidade da oxidação.

## 2.2 Corrosão por cavitação

A cavitação surge em zonas de baixa pressão onde o líquido entra em ebulição formando bolhas, as quais ao tomarem em contato com zonas de pressão mais alta são destruídas instantaneamente criando ondas de choque no líquido. A cavitação destrói as películas de produtos de corrosão expondo o material a novo desgaste corrosivo, além de provocar a deformação plástica com encruamento em face da incidência de ondas de choque de alta pressão e, portanto, a criação de áreas anódicas. Deste modo, o desgaste resultante será maior no caso de conjugar os dois fenômenos do que aquele observado pela ação de cada um isoladamente. O mecanismo de corrosão por cavitação pode ser descrito da seguinte forma: qualquer líquido contém bolhas gasosas ou vaporosas, que servem como núcleos de cavitação. Quando a pressão é reduzida a um determinado nível, as bolhas se tornam o repositório de vapor ou de gases dissolvidos. O resultado imediato dessa condição é que as bolhas aumentam rapidamente de tamanho. Posteriormente, quando as bolhas entram em uma zona de pressão reduzida, elas tomam um tamanho reduzido como resultado da condensação de vapores que elas contêm. Este processo de condensação surge de modo rápido, acompanhado por choques hidráulicos, emissão do som, destruição dos laços materiais e outros fenômenos indesejáveis. Acredita-se que a redução na estabilidade volumétrica na maioria dos líquidos é associada ao conteúdo de várias misturas, tais como partículas sólidas e bolhas de vapor de gás, particularmente aquelas com um nível submicroscópico, que servem como núcleos de cavitação.

Um aspecto crítico do processo de desgaste da cavitação é a destruição da superfície e do deslocamento de material causado pelo alto movimento relativo entre uma superfície e o fluido exposto.

Assim, a cavitação é o nome dado a um mecanismo em que as bolhas de vapor (ou cavidades) em um fluido crescem e entram em colapso devido as flutuações de pressão local. Estas flutuações podem produzir uma baixa pressão, na forma de pressão de vapor do líquido. Este processo de cavitação vaporosa ocorre em condições de temperatura aproximadamente constantes. Houve uma modernização tecnológica no túnel de cavitação, que passou por uma grande reforma de sua estrutura, com desmontagem e proteção contra corrosão interna. Cavitação é o fenômeno de vaporização de um líquido pela redução da pressão, durante seu

movimento. Esse fenômeno pode comprometer o desempenho do navio. Ela traz grandes preocupações aos projetistas, porque pode gerar efeitos indesejáveis como queda de empuxo (perda de força fornecida pela hélice), erosão das pás e aumento de vibrações induzidas pelo propulsor.

### 2.2.1 Tipos de cavitação

Existem dois principais tipos de cavitação: a vaporosa e a gasosa. A vaporosa é um processo de ebulição que acontece quando a bolha cresce explosivamente, de forma ilimitada, mudando o líquido rapidamente para vapor. Essa situação ocorre quando o nível de pressão cai abaixo da pressão de vapor do líquido. Já a gasosa é um processo de difusão que ocorre quando a pressão cai abaixo da pressão de saturação dos gases não condensáveis dissolvidos no líquido. Enquanto a cavitação vaporosa é extremamente rápida, ocorrendo em microssegundos, a gasosa é muito mais lenta, e o tempo que demora depende do grau de convecção (circulação de fluidos) presente.

A corrosão por esse processo incide somente sob condições de cavitação vaporosa – em que as ondas de choque e micro jatos podem corroer as superfícies do metal. Esse desgaste também é conhecido erosão de cavitação vaporosa, fadiga por cavitação, erosão de impacto líquido ou trefilação.

### 2.2.2 Processo de desgaste por cavitação

O líquido é o meio que provoca o desgaste por cavitação. Esse desgaste não requer uma segunda superfície, mas exige apenas que o movimento entre superfície e o fluido seja intenso. Tal movimento reduz a pressão local no fluido. Cada cavidade de vapor dura pouco tempo, porque quase qualquer aumento da pressão faz com que o vapor dentro da bolha se condense instantaneamente. Ao colapso da bolha, uma onda de choque é produzida. Esta onda de choque, em seguida, colide com as superfícies metálicas adjacentes e destrói os laços materiais. A primeira onda de choque produz uma tensão de compressão na superfície sólida, e depois quando ela é refletida, gera uma tensão de tração que é normal para a superfície. A cavitação é geralmente encontrada em uma condição hidrodinâmica, caracterizada por uma alteração súbita e grave da pressão hidrostática existente.

**Figura 13:** Exemplo de corrosão por cavitação em propulsor



Fonte: site escola naval

### 3 MÉTODOS ANTICORROSIVOS

A resistência à corrosão dos materiais metálicos está associada ao fato dos mesmos serem expostos ao meio corrosivo, apresentando taxas de corrosão baixas e controladas. Esta resistência pode decorrer de características próprias do material ou ser conferida por métodos de proteção anticorrosiva.

Os fenômenos mais importantes na resistência à corrosão são a polarização e a passivação. Os fenômenos de polarização que acompanham os processos corrosivos podem ser acelerados por técnicas como o uso de inibidores, proteção catódica e revestimentos. Já os fenômenos de passivação conferem ao material um comportamento de maior nobreza e podem ser acelerados pelo uso de proteção anódica e modificações no meio corrosivo como, por exemplo, o controle de pH.

Controlar a corrosão consiste, portanto, em se obter o controle das velocidades de corrosão, ou seja, controlar a corrosão eletroquímica significa paralisar ou diminuir a intensidade das pilhas de corrosão, este controle pode ser anódico, catódico ou misto.

Controlar a corrosão química significa ter controle das películas de oxidação, também a altas temperaturas. do funcionamento das pilhas de corrosão no caso da corrosão eletroquímica e do crescimento da película no caso da corrosão química ou oxidação a altas temperaturas. Controlar a corrosão eletroquímica significa paralisar ou diminuir a intensidade das pilhas de corrosão. Controlar a corrosão eletroquímica significa paralisar ou diminuir a intensidade das pilhas de corrosão. O controle de corrosão eletroquímica pode ser anódico, catódico ou misto. Iremos estudá-los a seguir.

#### 3.1 revestimentos anticorrosivos e anti-incrustantes

Os revestimentos Anticorrosivos constituem-se em películas interpostas entre o metal e o meio corrosivo, ampliando a resistência à corrosão do material metálico. Os revestimentos podem ser: metálicos, não metálicos inorgânicos ou orgânicos e a sua utilização podem ser no aumento da resistência à corrosão atmosférica, na imersão e na corrosão pelo solo. Portanto a principal função do revestimento é a proteção do material, que se dá através de três mecanismos de proteção: Barreira Física: as películas não são totalmente impermeáveis, sendo a penetração dos gases



e líquidos possível através das descontinuidades da película (poros e trincas). Ação química de inibidores de corrosão: a adição dos inibidores de corrosão retarda este processo. Os principais inibidores são zarcão, cromato de zinco, fosfato de zinco e molibdato de zinco.

Existem inúmeros tipos de revestimentos anticorrosivos, dentre eles: tintas, lacas, vernizes, esmaltes sintéticos, resinas, dispersões, emulsões, óleos protetores, entre outros.

- Tintas: qualquer composição líquida, pastosa ou em pó, que, aplicada em finas camadas sobre uma superfície, venha formar uma película seca, sólida e aderente a esta superfície;
- Lacas: tintas baseadas em polímeros termoplásticos, disperso em solventes;
- Vernizes: diferem das tintas por não conter pigmentos;
- Esmalte: sinônimo de tinta;
- Dispersões: resinas líquidas ou sólidas dispersáveis em solventes e dispersantes orgânicos;
- Emulsões: são dispersões de um líquido em outro líquido que são miscíveis.

Os Revestimentos Anti-incrustantes são tintas aplicadas como sistema de proteção com a finalidade de combater a formação e o estabelecimento de comunidades bioincrustantes em superfícies em contato com a água. São de grande importância, pois estão diretamente ligadas à navegabilidade das embarcações.

A não utilização de um revestimento anti-incrustante leva a aderência de organismos marinhos, conhecidos como cracas, que vão aumentar a fricção entre o casco das embarcações e a água, demandando assim, uma maior potência dos motores e conseqüentemente um maior consumo de combustível. Também será necessário o aumento na frequência de docagens gerando um incremento de custos e de resíduos gerados, além de aumento da taxa de corrosão.

O maior desafio quanto a este tipo de revestimento é o impacto ambiental que este pode ocasionar. É necessário desenvolver uma tinta que garanta a não incrustação e que por outro lado não afete a fauna marinha.

Os primeiros registros destes tipos de revestimentos são de 2 mil anos atrás, quando os cascos de madeira eram revestidos com chumbo e untados com óleo de baleia. Na década de 60 foram desenvolvidas tintas à base de um composto

organoestânico que eram extremamente eficientes, porém altamente tóxicas. Desde a década de 80 foram desenvolvidas tintas que contemplam 16 diferentes compostos biocidas que não são tão agressivos ao meio ambiente.

### 3.1.2 Mecanismos de formação da película

Evaporação do solvente: após a aplicação da película, o solvente evapora com velocidade controlada permanecendo na película a parte da tinta não volátil que se aglomera formando a película. Este controle da velocidade de evaporação deve ser feito através da adição de mistura de solventes com características voláteis diferentes. Importante lembrar que os solventes atuam como dispersantes, uma vez que os polímeros são insolúveis, e são adicionados para dar a viscosidade desejável para a aplicação.

- Fusão pelo aquecimento: A resina aquecida funde-se ou amolece o suficiente para a aplicação e após resfriamento torna-se um revestimento sólido;
- Coalescência: Ocorre nas tintas formadas por emulsão. Estas tintas são obtidas dispersando dois líquidos imiscíveis uns nos outros (a resina e o solvente). Com a evaporação do solvente as partículas da resina vão se aglomerando e formam uma película contínua, uniforme, coesa e bastante plástica;
- Oxidação: Ocorre em tintas que utilizam certos óleos que contêm uma ou mais duplas ligações nas suas moléculas (ex.: óleo de mamona, linhaça, etc.). Após a aplicação e a evaporação do solvente o oxigênio reage com as moléculas quebrando a dupla camada e fazendo a ponte entre as moléculas, interligando-as e fazendo o peso molecular aumentar.

### 3.1.3 Pigmentos e aditivos

Pigmentos são materiais sólidos finamente pulverizados com dimensões entre 0,1 a 1,0  $\mu\text{m}$  e insolúveis nos veículos. Que conferem cor, opacidade e ação anticorrosiva às tintas.

### 3.1.3.1 Pigmentos anticorrosivos

- Zarcão: usado como primer com óleo secativo. Tem características inibidoras de corrosão e baixo teor de cobertura e toxicidade elevada;
- Cromato de Zn: libera o íon cromato que atua como inibidor de corrosão. Em locais submersos pode provocar bolhas, principalmente se usado com primer. Possui alta toxicidade;
- Pó de Zn: atua como proteção catódica;
- Alumínio: Produzidos sob forma lamelar, atuam como barreira física e refletem os raios solares;
- Antiincrustante: Pigmentos empregados nas tintas chamadas venenosas, que possuem esta definição por não permitem que organismos marinhos como cracas, mariscos, corais, ostras e algas consigam aderir aos cascos das embarcações, Estes pigmentos são compostos de mercúrio ou de cobre como, por exemplo, o óxido cuproso. Sua ação se baseia na lixiviação dos compostos venenosos pela água do mar, formando uma camada junto ao casco, que impede a aderência dos organismos vivos.

### 3.1.3.2 Aditivos

“São os compostos empregados em pequenas concentrações, nas formulações das tintas com o objetivo de se lhes conferir, ou às películas, determinadas características que sem eles seriam inexistentes”. (GENTIL, 1983, p.247)

### 3.1.4 Solventes e dispersantes

O Solvente é um veículo volátil utilizado na fabricação da tinta que dissolve ou dispersa os pigmentos, aditivos e as resinas que vão constituir em um material líquido com uma certa viscosidade. Em uma tinta é usada uma composição de vários solventes. Os solventes mais voláteis (ou mais leves) deixem a película de tinta rapidamente após a aplicação, e não permitam que a tinta escorra em superfícies verticais. Os solventes mais pesados permanecem por um tempo mais longo na

película, possibilitando o nivelamento de marcas de pincel ou desaparecimento de bolhas e crateras formadas durante a aplicação.

Podem ser classificados em solventes verdadeiros, solventes auxiliares e diluentes:

- Solventes verdadeiros: Capazes de interagir com as resinas, provendo a sua diluição, emulsão ou dispersão.
- Solventes Auxiliares: Não interagem com as resinas, mas misturados com os solventes verdadeiros ajudam na velocidade de evaporação da mistura.
- Diluentes: Utilizados para adequar alguma característica da tinta (viscosidade). Custo mais baixo.

### 3.1.5 Resinas e Extensores

Resina é um fluido ou uma solução que forma um filme durante a secagem ou cura da tinta dando as características da tinta, se ela vai ser mais ou menos rígida. Além disso, une pigmentos e extensores formando um filme sólido. Fornece a adesão ao substrato e resistência à água, produtos químicos, solventes e ao raio UV. As resinas podem ser naturais (óleo, resina de madeira, betumem, etc.) ou podem ser resinas sintéticas (vinílica, acrílico, epóxi, poliuretano, silicato, etc.). Extensores são minerais utilizados para encorpar e reduzir o custo final do produto. Melhora as propriedades mecânicas da película.

## 3.2 Proteção catódica por anodo de sacrifício

A proteção catódica por anodos de sacrifício é uma técnica utilizada para proteger um material de um ataque químico (corrosão). Esta proteção se baseia no fato de existir um metal que possui potencial de corrosão mais baixo e, como tal, ser corroído durante a reação. Existem várias ligas, por exemplo, de zinco, de magnésio e de alumínio, que são utilizadas como anodos de sacrifício.

Então, quando dois metais diferentes são imersos em água doce ou salgada, é criada uma pequena corrente elétrica, que flui do pólo negativo (o metal de menor condutividade – catodo) para o pólo positivo (o metal de maior condutividade – anodo). Esta corrente provoca uma galvanização por meio de uma eletrólise. O resultado desta eletrólise é a corrosão do metal de maior condutividade elétrica, o anodo.

A tecnologia de utilização de anodos de sacrifício foi desenvolvida para que eles sejam corroídos (dissolvidos) no lugar do material que se deseja proteger da corrosão. O zinco e as ligas de zinco com alumínio são os melhores anodos para água salgada. Já em água doce, a eletrólise é bem menor e a liga de magnésio é o anodo mais recomendado.

**Figura 14:** Anodos de sacrifício no casco de uma embarcação



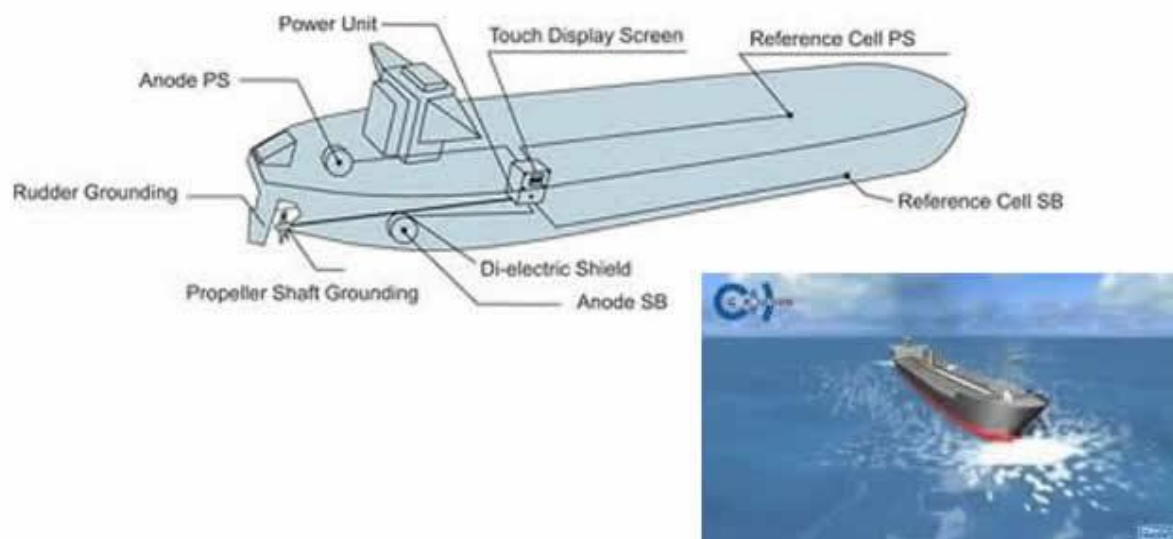
Fonte: Site tecship.

### 3.3 Proteção catódica por corrente impressa

Nos sistemas com corrente impressa, a polarização do metal a proteger é conseguida pela aplicação de uma corrente catódica através de sua interface, com auxílio de um gerador de corrente contínua (ou um retificador). Para fechar o circuito é necessário, neste caso, também a presença de um eletrodo anódico. Há porém uma grande diferença com o método anterior, pois naquele a polarização ocorre espontaneamente pelo contato entre os dois metais. No processo de corrente impressa, a corrente é fornecida externamente por um gerador ou retificador. Deste modo. O ânodo é polarizado para valores de potencial acima (mais nobres) do valor de potencial ao qual se estabiliza o cátodo. A diferença de potencial entre ânodo e cátodo é suprida pela fonte de força eletromotriz. Assim, não é necessário que o ânodo se dissolva, pois poderá ser um metal inerte que apenas sirva de sede de uma reação anódica qualquer, em geral a de liberação de oxigênio (oxidação da água). Pode-se, porém usar metais corrosíveis como, por exemplo, ligas de Fe-Si (que se corroem pouco), sucata de ferro ou aço (bastante barata). Os ânodos que não se corroem se chamam de ânodos permanentes e em geral são de ligas de Ti, Nb ou Ta, platinizados ou revestidos com óxidos de outros metais nobres como irídio. A vantagem destes é

justamente a de não se dissolverem e portanto não ser necessária sua substituição periódica. Isto é particularmente importante, quando as estruturas a proteger estão enterradas em lugares de difícil acesso como no sub-solo de cidades ou em lugares afastados de centros de manutenção.

**Figura 15:** Sistema proteção catódica por corrente impressa aplicada a navio



Fonte: Site Workship.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Olhando todos esses problemas levantados e o fato já mencionado de o principal causador de acidentes navais ser a deficiência estrutural, fica nítido que é necessário dar maior atenção ao processo de corrosão. Dessa forma, a vida útil do navio não se torna uma questão de risco, evitando-se, portanto, que a oxidação acarrete um fracasso financeiro, algo indesejável para qualquer empresa.

Durante o tempo de utilização de um navio, seja ele de qual porte for, é importante que o tempo em manutenção seja o menor possível. Os altos custos para reparos internos e externos, principalmente, e o tempo de restauro em cada parada no estaleiro inviabilizam uma vistoria periódica.

Sendo uma das consequências diretas do tempo de inatividade, a queda da produtividade é outro fator importante. A retirada de uma embarcação em serviço, inevitavelmente, trará prejuízos a quem tem a posse da mesma. Imagine quantos litros de combustíveis ou contêineres transportando produtos deixam de ser entregues simplesmente por uma embarcação estar em manutenção. E o pior, há a possibilidade de uma concorrente “roubar” o seu lugar no mercado, o que pode se tornar irreversível.

A conscientização dos profissionais desta área se faz necessária para que haja manutenções, principalmente, preditivas e não apenas corretivas, pois assim os gastos diminuiriam brutalmente.

As indústrias navais ainda estão com a filosofia de que a manutenção preditiva gera grandes custos a elas, no entanto, isso seria um grande e visível investimento futuramente.

## REFERÊNCIAS

ABRAFATI, Associação Brasileira dos Fabricantes de Tintas. **Tintas e Vernizes**. Volume 1. Rio de Janeiro: Ciência e Tecnologia, 2008.

ASSOCIAÇÃO Brasileira de Corrosão. **Formas de corrosão**. Disponível em: <[www.abraco.org.br](http://www.abraco.org.br)>. Acesso em: 15 mai. 2018.

BRASILESCOLA. Proteção contra corrosão. Disponível em: <<http://www.brasilescola.com/quimica/protecao-contracorrosao-ferro.htm>>. Acesso em 20 mai. 2018.

GENTIL V., "Corrosão". 3<sup>a</sup> edição, Rio de Janeiro, 1983

MÉTODOS de Preparo da Superfície. Disponível em: <<http://www.anatin.com.br/dicas.html>>. Acesso em 04 jun. 2018.

NUNES, Laerce de Paula. **Fundamentos de Resistência a Corrosão**. 2<sup>o</sup> ed. Rio de Janeiro: Ciência e Tecnologia, 2007.

PIMENTA, G. de Souza. CONCEITO DE CORROSÃO. Disponível em: [http://www.iope.com.br/3i\\_corrosao.htm](http://www.iope.com.br/3i_corrosao.htm) />. Acesso em 04 jun. 2018.

FILHO A., 1991, Osmose e Empolamento de Laminados

Godoi, A. F. L.; Favoreto, R.; Santiago-Silva, M.; Quim. Nova 2003.

MENA L., MORENO C., Determinação das Forças no Sistema de Conexão de Comboios Oceânicos Articulados (ATB), XX Conferencia Panamericana de Engenharia Naval Copinaval, 2007.

NORMA - ABNT NBR 7348